"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

# اثر مصرف زئولیت بر عملکرد دانه و کیفیت روغن دانه کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط تنش خشکی

# Effect of application of zeolite on seed yield and oil quality of camelina (*Camelina sativa* L.) under drought stress conditions

امیرحسین شیرانی‌راد[1] و حامد عینی نرگسه[2]

## چکیده

**شیرانی‌راد، ا.ح. و ح. عینی نرگسه. ۱۴۰۳.** اثر مصرف زئولیت بر عملکرد دانه و کیفیت روغن دانه کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط تنش خشکی. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۳): ۲۹۸ -۲۸۵.**

**آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر مصرف زئولیت بر عملکرد دانه، محتوای روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه کاملینا (رقم سهیل) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در دو سال زراعی( ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸) در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر درکرج انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای زئولیت در چهار سطح (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) و تیمارهای آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک تا انتهای دوره رشد گیاه) در نظر گرفته شدند. صفات گیاهی مورد ارزیابی شامل عملکرد دانه، محتوای روغن دانه، ترکیب اسیدهای چرب روغن، محتوای گلوکوزینولات دانه، نسبت غیراشباعی اسید اولئیک (ODR) و نسبت غیراشباعی اسید لینولئیک (LDR) بودند. نتایج نشان داد در تیمار آبیاری کامل بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۲۰۹ کیلوگرم در هکتار)، روغن دانه (۳۱ درصد) و عملکرد روغن (۶۸۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت بدست آمد. در تیمار قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک، بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۳۶۱ کیلوگرم در هکتار)، روغن دانه (۲۹/۶ درصد) و عملکرد روغن (۴۰۴ کیلوگرم در هکتار) و در تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی بیشترین مقدار عملکرد دانه (۸۴۶ کیلوگرم در هکتار)، روغن دانه (۲۸/۱ درصد) و عملکرد روغن (۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت بدست آمدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک، لینولئیک و لینولنیک شده و اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزینوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات افزایش یافتند. مصرف زئولیت باعث افزایش میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک شده و اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزینوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات کاهش یافتند. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف زئولیت باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت روغن دانه کاملینا شده و اثر آن در شرایط تنش خشکی نمود بیشتری داشت.**

**واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب، روغن دانه، عملکرد دانه، کاملینا و گلوکوزینولات**

---

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵
این مقاله مستخرج از آزمایش مستقل می‌باشد

۱- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(مکاتبه کننده، shirani.rad@gmail.com & Heyni@nus.ac.ir ✉)
۲- استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

# Effect of application of zeolite on seed yield and oil quality of camelina (*Camelina sativa* L.) under drought stress conditions

**Shirani Rad, A.H.[1], and Eyni-Nargeseh, H.[2]**

## ABSTRACT

**Shirani Rad, A.H., and Eyni Nargeseh, H. 2025.** Effect of application of zeolite on seed yield and oil quality of camelina (*Camelina sativa* L.) under drought stress conditions**. Iranian Journal of Crop Sciences. 26(1): 285-298. (In Persian).**

**Introduction:** Camelina (*Camelina sativa* L.) has become one of the oilseed crops around the world due to its wide adaptability and tolerance to water-deficit stress. Camelina potentially produces reasonable seed yield in drought-prone environments (Codina-Pascual *et al.,* 2022). Suitable crop management practices including optimal nutrient managementmitigate the adverse effects of environmental stresses (Shiranirad *et al.*, 2023). The present research aimed to investigate the effect of zeolite on the camelina (cv. Soheil) seed yield, seed oil content, oil yield and fatty acid composition under full irrigation and drought stress conditions in Karaj, Iran.

**Materials and Methods:** The experiment was carried out as factorial arrangement in randomized complete blocks design with three replications at Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Karaj, Iran, in 2018-19 and 2019-20. Zeolite was applied at four levels (0, 5, 10, and 15 ton.ha$^{-1}$) and irrigation at three levels (full irrigation, irrigation withhold from the silicle formation and irrigation withhold from flowering stages). The studied traits consisted of seed yield, seed oil content and, fatty acids profiling (palmitic, stearic, arachidic, behenic, palmitoleic, oleic, eicosanoic, erucic, linoleic and linolenic acids), glucosinolate content, and fatty acid ratios (ODR: oleic desaturation ratio and LDR: linoleic desaturation ratio).

**Results:** The results showed that the highest seed yield (2209 kg.ha$^{-1}$), seed oil content (31%) and oil yield (685 kg.ha$^{-1}$) were obtained from the application of 10 ton.ha$^{-1}$ of zeolite. However, in the irrigation withhold from the silicle formation and flowering stages the highest seed yield, seed oil content, and oil yield were obtained from 15 ton.ha$^{-1}$ of zeolite. Drought stress decreased the oleic, linoleic and linoleic acids contents, while the palmitic, stearic, arachidic, eicosanoic, erucic and glucosinolate contents were increased under drought stress conditions. Applying of zeolite boosted oleic, linoleic and linolenic fatty acids contents, while palmitic, stearic, arachidic, eicosanoic and erucic fatty acids contents as well as glucosinolate content were reduced by using zeolite.

**Conclusion:** Overall, the best quantity and quality of camellia oil was obtained from the 10 ton.ha$^{-1}$ of zeolite under the full irrigation level, while in the irrigation withhold from the silicle formation and flowering stages, 15 ton.ha$^{-1}$ of zeolite had more positive effect. In addition, despite the positive effect of irrigation and zeolite in enhancing the quantity and quality of camelina oil, the erucic acid content was higher than the standard (2%) for human consumption. Therefore, proper management practices as well as improved cultivars with low erucic acid content are to be used to improve the fatty acid oil profile of camelina cv. Soheil.

**Key words:** Camelina, Fatty acids, Glucosinolate, Seed oil content and Zeolite

**Received: July, 2024** **Accepted: November, 2024**

1. Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author, ✉ shirani.rad@gmail.com & Heyni@nus.ac.ir)
2. Assist Prof., Department of Agricultural Sciences, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran

**مقدمه**

دانه‌های روغنی با تامین بخشی از نیازهای غذایی انسان و با توجه به مصرف انواع روغن‌ها در صنایع، نقشی مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. کاملینا (*Camelina sativa* L.) با توجه به سازگاری با شرایط کم‌آبی و با توجه به پایین بودن نیاز غذایی آن، در سال‌های اخیر به یکی از گیاهان دانه روغنی مناسب برای توسعه سطح زیر کشت در دنیا تبدیل شده است (Codina-Pascual *et al.*, 2022; Schillinger, 2019). علاوه بر این، نیازهای کمتر به نهاده‌ها، سازگاری با شرایط متنوع آب و هوایی، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و موارد مصرف آن در غذای انسان، خوراک دام و سوخت زیستی (بیودیزل)، توجه محققان و کشاورزان را به توسعه زراعت کاملینا جلب کرده است (Zanetti *et al.*, 2021). در سال‌های اخیر بحران آب به یک عامل تهدید کننده برای امنیت غذایی در جهان تبدیل شده است. به گزارش سازمان ملل، حدود سه چهارم آب در دنیا برای تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌شود و بیش از نیمی از آب مصرفی از طریق آبیاری غیر ضروری به هدر می‌رود (Kummu *et al.*, 2012). بنابراین، انتخاب گیاهان مناسب برای هر اقلیم و بهینه‌سازی مصرف آب برای دستیابی به عملکرد و کیفیت مناسب دانه ضروری است.

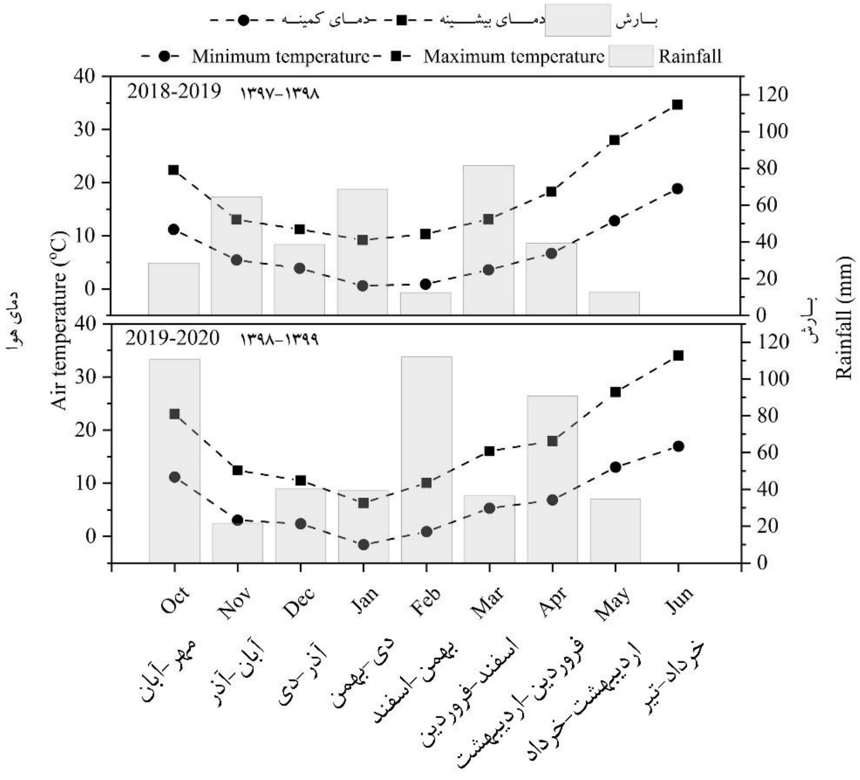
تامین آب آبیاری برای تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، چالش مهم پیش روی کشاورزان است. مدیریت آبیاری علاوه بر کاهش این چالش تامین آب آبیاری، می‌تواند اثرات مثبتی بر تولید محصول در هر منطقه داشته باشد. تنش کم‌آبی به خصوص در مراحل زایشی، رشد و عملکرد گیاهان زراعی از جمله کاملینا را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Borzoo *et al.*, 2021; Shiranirad *et al.*, 2023). گزارش شده است که کاهش مقدار مصرف آب باعث وقوع تنش خشکی و کوتاه شدن دوره رشد گیاه شده و عملکرد دانه و روغن کاملینا کاهش می‌یابد (Walia *et al.*, 2021). کم‌آبی با تاثیر بر فعالیت آنزیم‌های موثر در سنتز اسیدهای چرب (Singh and Sinha, 2005)، باعث تغییر در مقدار و نسبت اسیدهای چرب روغن دانه کلزا شد (Eyni-Nargeseh *et al.*, 2020). نتایج یک آزمایش نشان داد که عملکرد دانه کاملینا و محتوای روغن دانه آن در شرایط تنش خشکی در مراحل گلدهی و تشکیل خورجینک به‌ترتیب هشت تا ۱۱ درصد کاهش یافت (Aghdasi *et al.*, 2021). در یک آزمایش دیگر افزایش میزان اسید اروسیک و کاهش اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک در اثر وقوع تنش خشکی در کلزا گزارش شد (Shirani Rad *et al.*, 2022). کاهش عملکرد و روغن دانه کاملینا در شرایط تنش خشکی توسط امین بیگی و همکاران (Aminbaigi *et al.*, 2023) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد که استفاده از مواد اصلاح کننده خاک، با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌توانند اثر منفی تنش خشکی بر گیاهان زراعی را تعدیل و به رشد و تولید محصول آنها کمک کنند. زئولیت یک ماده سازگار با محیط‌زیست است که به‌طور گسترده‌ای برای بهبود ویژگی‌های خاک مورد توجه قرار دارد و به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد می‌توان از آن در بخش کشاورزی نیز بهره برد (Sun *et al.*, 2020). زئولیت با دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، توزیع یکنواخت اندازه ذرات و تخلخل داخلی بالا، در شرایط تنش خشکی باعث حفظ آب و عناصر غذایی در ناحیه ریشه شده و باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی بر گیاه می‌شود (Hazrati *et al.*, 2017). زئولیت‌ها با کاهش سرعت رهاسازی عناصر غذایی از کودهای آلی و معدنی، باعث فراهم شدن امکان دسترسی گیاه به عناصر غذایی در طول مراحل رشد می‌شوند. زئولیت به‌طور مؤثری فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و آنیون‌های کرومات و آرسنات و ترکیبات آلی فرار را از خاک جذب می‌کند (Mondal *et al.*, 2021). نتایج یک

آزمایش روی گیاه کنف نشان داد که مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت در شرایط تنش خشکی ملایم (۸۰ درصد نیاز آبی)، با بهبود رشد و فعالیت‌های دفاعی گیاه، باعث افزایش عملکرد ماده خشک گیاه شد (Bahador and Tadayon, 2020). نتایج یک آزمایش دیگر نشان داد که با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت در تیمارهای آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، عملکرد دانه کلزا به‌ترتیب ۲۷، ۶۴ و ۹۴ درصد افزایش یافت (Motaghi *et al.*, 2019).

کاملینا به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی با نیاز آبی کم، برای کشت در مناطق مختلف ایران مناسب به‌نظر می‌رسد. به‌علاوه استفاده از مواد اصلاح کننده خاک مانند زئولیت نیز می‌تواند رشد و تولید محصول آن را در شرایط کم‌آبی بهبود دهد. بر همین اساس، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر مصرف مقادیر زئولیت بر عملکرد و محتوای روغن دانه کاملینا و ترکیب اسیدهای چرب آن در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در شرایط آب و هوایی کرج انجام شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی اجرا شد. اطلاعات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.




شکل ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸)

Table 1. Meteorological information of the experiment site (2018–2019 and 2019–2020)

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل زئولیت در چهار سطح (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) و آبیاری در سه سطح

(آبیاری کامل در طول دوره رشد گیاه بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک تا انتهای دوره رشد و قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا انتهای دوره رشد گیاه) بودند. به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب و همچنین عدم تاثیر زئولیت بر کرت‌های مجاور، فاصله دو متری بین کرت‌ها در نظر گرفته شد. پس از آماده سازی زمین و کرت‌بندی، زئولیت بر اساس سطوح تیمارهای آزمایش در سطح خاک پخش و سپس با استفاده از دستگاه فاروئر (جوی و پشته ساز) مخصوص آزمایشی، پشته‌ها ایجاد شدند. با این کار، زئولیت در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری خاک قرار گرفت. متعاقبا بذرهای کاملینا در دو طرف پشته‌ها کاشته شدند.

هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت شش متری بود که فاصله بین ردیف‌ها و روی ردیف‌ها برای بوته‌های کاملینا به‌ترتیب ۳۰ و پنج سانتی‌متر (تراکم تقریبی ۶۶ بوته در مترمربع) درنظر گرفته شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Chemical and physical properties of the soil at the experiment site

| سال Year | پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg.kg$^{-1}$) | فسفر قابل جذب Available phosphorous (mg.kg$^{-1}$) | نیتروژن Nitrogen (%) | کربن آلی Organic carbon (%) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC (dS.m$^{-1}$) | عمق خاک Soil depth (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۷-۱۳۹۸ | 255 | 11.7 | 0.07 | 0.54 | 7.3 | 3.97 | 0-30 |
| 2018-2019 | 189 | 8.9 | 0.08 | 0.58 | 7.6 | 1.22 | 30-60 |
| ۱۳۹۸-۱۳۹۹ | 236 | 12.5 | 0.08 | 0.61 | 7.1 | 3.81 | 0-30 |
| 2019-2020 | 212 | 10.1 | 0.09 | 0.72 | 7.4 | 1.75 | 30-60 |

مصرف کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های کودی انجام شد. بر این اساس، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره) در سه نوبت (قبل از کاشت، در مرحله طویل شدن ساقه و در مرحله غنچه‌دهی)، ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) و ۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) قبل از کاشت به خاک داده شدند. بذر کاملینا (رقم سهیل) در تاریخ ششم مهر در هر دو سال کاشته شد. سهیل اولین رقم زراعی معرفی شده از گیاه کاملینا در کشور است که تیپ رشدی آن بهاره بوده و میانگین ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، طول دوره رویش، عملکرد دانه و روغن دانه آن به‌ترتیب ۸۸ سانتی‌متر، یک گرم، ۱۷۰ روز، ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۳۰ درصد است (Najafian *et al.*, 2018). علف‌های هرز در طول دوره رشد گیاه به‌صورت دستی وجین شدند. آبیاری بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر انجام شد. در تیمارهای آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به‌ترتیب ۵۱۲۰، ۳۸۴۰ و ۲۵۶۰ متر مکعب آب مصرف شد. برداشت محصول در مرحله رسیدگی کامل (پس از رسیدن رطوب بذرها به ۱۲ درصد) با برداشت از سطح ۴/۵ مترمربع از هر کرت انجام و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار ثبت شد.

اندازه‌گیری محتوای روغن دانه با استفاده از دستگاه سوکسله و ترکیب اسیدهای چرب روغن با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (Varian CP3800, Agilent Tech., USA) بر اساس روش آزادمرد دمیرچی و داتا (Azadmard-Damirchi and Dutta, 2006) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه

خوارزمی انجام شد. اسیدهای چرب اندازه‌گیری شده شامل اسید پالمیتیک، اسید پالمیتولئیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید لینولنیک، اسید آراشیدیک، اسید ایکوزانوئیک، اسید بهینیک و اسید اروسیک بودند. میزان گلوکوزینولات کنجاله نیز با استفاده از اسپکتروفتومتر (Varian C100, UV2100, USA) تعیین شد (Harinder *et al.*, 2007). نسبت غیراشباعی اولئیک (Oleic Desaturation Ratio; ODR) و نسبت غیراشباعی لینولئیک (Linoleic Desaturation Ratio; LDR) (به‌صورت درصد) با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین شدند (Mondal *et al.*, 2010):

$$ODR = \left[\frac{\text{لینولئیک+لینولنیک}}{\text{لینولنیک+لینولئیک+اولئیک}}\right] \times 100 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$LDR = \left[\frac{\text{لینولنیک}}{\text{لینولئیک+لینولنیک}}\right] \times 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از همگنی واریانس خطای آزمایشی، تجزیه مرکب واریانس با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۲) انجام شد. با توجه به اینکه ضریب تغییرات محتوای اسید بهینیک اسید بالاتر از ۳۰ درصد بود، عمل تبدیل داده‌ها (لگاریتمی) روی داده‌ها انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه همبستگی بین صفات با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Origin Pro 2019 رسم شدند.

## نتایج و بحث

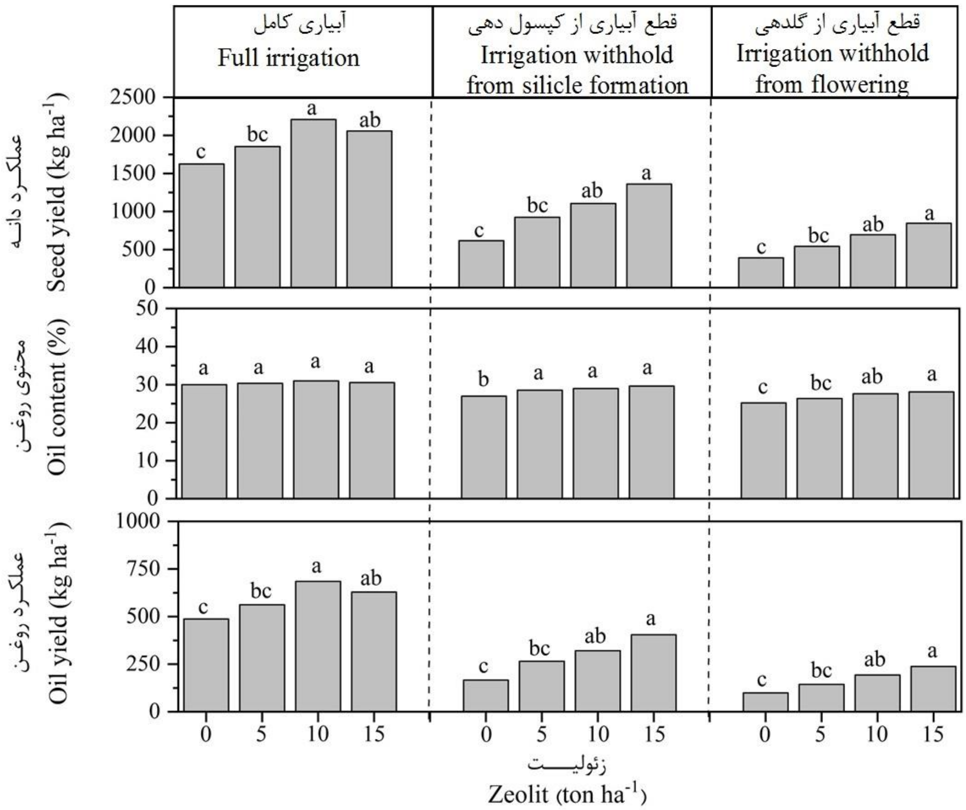
نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش تیمارهای آبیاری و زئولیت بر عملکرد دانه، میزان روغن دانه و عملکرد روغن معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۹۳۶ کیلوگرم در هکتار)، روغن دانه (۳۰/۴۶ درصد) و عملکرد روغن (۵۹۱ کیلوگرم در هکتار) در میانگین تیمارهای زئولیت، در آبیاری کامل به‌دست آمد و با قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک و گل‌دهی، عملکرد دانه به‌ترتیب ۵۱/۱ و ۷۱/۵ درصد، روغن دانه به‌ترتیب ۶/۴ و ۱۱/۹ درصد و عملکرد روغن به‌ترتیب ۴۸/۳ و ۶۸/۰ درصد کاهش یافتند (شکل ۲). تغییرات عملکرد دانه و محتوای روغن دانه در تیمارهای آبیاری و سطوح زئولیت متفاوت بود، در تیمار آبیاری کامل بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۲۰۹ کیلوگرم در هکتار)، روغن دانه (۳۱ درصد) و عملکرد روغن (۶۸۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌دست آمد، اما در تیمارهای قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک و گل‌دهی، بیشترین مقدار این صفات در تیمار ۱۵ تن در هکتار زئولیت ثبت شد (شکل ۲).

علت کاهش محتوای روغن دانه در شرایط تنش خشکی به افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب نسبت داده شده است (Singh and Sinha, 2005). به‌علاوه، تنش خشکی ظرفیت دانه‌ها را برای جذب مواد فتوسنتزی و تبدیل آن‌ها به روغن کاهش می‌دهد (Elferjani and Soolanayakanahally, 2018). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نیز می‌تواند به دلیل اثر منفی کم‌آبی بر رشد گیاه و اجزای عملکرد (تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک و وزن دانه‌ها) باشد (Shirani Rad *et al.*, 2024). بدیهی است که با کاهش عملکرد دانه و میزان روغن دانه، عملکرد روغن نیز که به‌طور مستقیم به این دو صفت وابسته است، کاهش می‌یابد. در توافق با نتایج این تحقیق، کاهش میزان و عملکرد روغن دانه کاملینا در تنش خشکی توسط اقدسی و همکاران (Aghdasi *et al.*, 2021) و شیرانی‌راد و همکاران (Shiranirad *et al.*, 2023) نیز گزارش شده است.

با توجه به یافته‌های این تحقیق مبنی بر اثر مثبت مصرف زئولیت بر عملکرد دانه و محتوای روغن دانه

کاملینا، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، به نظر می‌رسد که زئولیت به‌دلیل جذب و نگهداری و همچنین افزایش دسترسی گیاه به رطوبت خاک، باعث افزایش دسترسی گیاه به آب و بهبود وضعیت آبی آن می‌شود (Stevenson *et al.*, 2007). مصرف زئولیت با حفظ و نگهداری آب و افزایش دسترسی گیاه به آب، باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی و بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود. به‌علاوه، زئولیت با نگهداری مواد غذایی در محیط ریشه و آزادسازی تدریجی آن‌ها در زمان نیاز گیاه، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Motaghi *et al.*, 2015). بهادر و تدین (Bahador and Tadayon, 2020) در آزمایشی با ارزیابی اثر مصرف زئولیت (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بر عملکرد شاهدانه در شرایط تنش کم‌آبی (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) گزارش دادند که مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی (۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه)، باعث بهبود رشد بوته‌های شاهدانه شد. نتایج آزمایش خاشعی سیوکی و همکاران (Khashei Sivaki *et al.*, 2020) در شرایط آب و هوایی بیرجند نشان داد که در شرایط تنش خشکی، محتوای روغن دانه کنجد در تیمارهای مصرف زئولیت و سوپرجاذب بیشتر از عدم مصرف آن‌ها بود و این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک اقدام مدیریتی مناسب مورد توجه کشاورزان قرار گیرد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تیمارهای آبیاری و زئولیت بر میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، اولئیک، لینولئیک، لینولنیک، آراشیدیک، ایکوزانوئیک، اروسیک




شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه، میزان روغن دانه و عملکرد روغن کاملینا در برهمکنش تیمارهای آبیاری و زئولیت

Fig. 2. Mean comparison of seed yield, seed oil content and oil yield of camelina in interaction of irrigation and zeolite treatments

روغن و همچنین میزان گلوکوزینولات کنجاله معنی‌دار بودند. برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و زئولیت فقط برای اسید چرب پالمیتولئیک معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای قطع آبیاری باعث وقوع تنش خشکی و کاهش میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک شد و در مقابل میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزانوئیک، اروسیک و محتوای گلوکوزینولات افزایش یافتند (جدول ۲). بیشترین میزان اسیدهای چرب اولئیک (۱۶/۷ درصد)، لینولئیک (۱۸/۷ درصد) و لینولنیک (۳۱/۸ درصد) در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و قطع آبیاری از مراحل تشکیل خورجینک و گل‌دهی به‌ترتیب باعث کاهش ۹ و ۱۶ درصدی برای اسید اولئیک، ۶ و ۱۱ درصدی برای اسید لینولئیک، و ۴ و ۷ درصدی برای اسید لینولنیک شد (جدول ۲). در تیمار آبیاری کامل کمترین میزان اسیدهای چرب پالمیتیک (۳/۷۸ درصد)، استئاریک (۱/۶۸ درصد)، آراشیدیک (۱/۵۶ درصد)، ایکوزانوئیک (۱۴/۸ درصد)، اروسیک (۳/۲۱ درصد) و گلوکوزینولات (۱۴/۴ میکرومول بر گرم کنجاله) به‌دست آمد و قطع آبیاری از مراحل تشکیل خورجینک و گل‌دهی به‌ترتیب افزایش ۲۷ و ۳۸ درصدی برای اسید پالمیتیک، ۲۲ و ۴۱ درصدی برای اسید استئاریک، ۲۱ و ۳۸ درصدی برای اسید آراشیدیک، ۹ و ۱۵ درصدی برای اسید ایکوزانوئیک، ۲۵ و ۴۸ درصدی برای اسید اروسیک و ۳۴ و ۵۶ درصدی برای محتوای گلوکوزینولات شد (جدول ۲). به طورکلی اسیدهای چرب به دو دسته اشباع شده و اشباع نشده تقسیم شده و به‌ترتیب به‌عنوان اسیدهای چرب ضروری و غیرضروری شناخته می‌شوند. از نظر تغذیه‌ای، دو اسید چرب اسید اولئیک به دلیل پایداری بالا، طعم مناسب و مقاومت در برابر دماهای بالا در فرآیند سرخ کردن (Smith, 1993) و اسید لینولئیک اسید به‌دلیل کاهش سطح کلسترول خون (Cosge *et al.*, 2007)، باعث افزایش کیفیت روغن شده و نسبت به سایر اسیدهای چرب روغن، از اهمیت بیشتری برای مصارف انسانی برخوردار هستند. در مقابل اسید اروسیک در روغن و گلوکوزینولات در کنجاله باعث کاهش کیفیت آنها می‌شوند (Shiranirad *et al.*, 2023). ترکیب اسیدهای چرب تحت تأثیر عوامل محیطی و فعالیت‌های مدیریتی قرار گرفته و درصد و نسبت اسیدهای چرب روغن دانه تغییر می‌کنند. وقوع تنش خشکی با تاثیر بر آنزیم‌های غیراشباع کننده (دساتورازها)، باعث تغییر در میزان غیراشباع‌سازی اسیدهای چرب شده و اثر شرایط نامساعد محیطی بر اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک بیشتر است و باعث کاهش آنها می‌شود (Zafari *et al.*, 2020). گزارش شده است که هشت روز پس از گلدهی که سنتز روغن در حال افزایش است، آنزیم D-9 desaturase شروع به فعال شدن کرده و با غیراشباع‌سازی اسید استئاریک باعث تجمع اسید اولئیک می‌شود (Lee *et al.*, 2016). امیری دربان و همکاران (Amiri-Darban *et al.*, 2020) با ارزیابی اثر مصرف سولفات پتاسیم و سولفات آمونیوم در شرایط تنش خشکی در کاملینا گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک روغن شد و میزان اسیدهای چرب ایکوزانوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات افزایش یافتند که این نتایج در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد. کلانتر احمدی و عینی نرگسه (Kalantar Ahmadi and Eyni-Nargeseh, 2023) نیز کاهش میزان اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک و افزایش اسیدهای چرب اروسیک، پالمیتیک، استئاریک، لینولنیک و گلوکوزینولات کنجاله را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب در کلزا گزارش کرده‌اند.

نتایج نشان داد که مصرف کلیه سطوح زئولیت باعث افزایش میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و

جدول ۲- مقایسه میانگین اسیدهای چرب روغن و گلوکوزینولات دانه کاملینا در تیمارهای آبیاری و زئولیت

Table 2. Mean comparison of oil fatty acids and glucosinolate content of camelina seed in irrigation and zeolite treatments

| Treatments | تیمارهای آزمایشی | اسید پالمیتیک Palmitic acid (16:0) | اسید استاریک Stearic acid (18:0) | اسید اولئیک Oleic acid (18:1) | اسید لینولئیک Linoleic acid (18:2) | اسید لینولنیک Linolenic acid (18:3) | اسید آراشیدیک Arachidic acid (20:0) | اسید ایکوزانوئیک Eicosanoic acid (20:5) | اسید اروسیک Erucic acid (22:1) | اسید بهنیک Behinic acid (22:0) | گلوکوزینولات Glucosinolate ($\mu mol.g^{-1}$ meal) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Irrigation | آبیاری | | | | | (%) | | | | | |
| Full irrigation | آبیاری کامل | 3.78c | 1.68c | 16.7a | 18.7a | 31.8a | 1.56c | 14.8c | 3.21c | 6.32 | 14.4c |
| Irrigation withhold from silicle formation | قطع آبیاری از تشکیل خورجینک | 4.80b | 2.05b | 15.1b | 17.5b | 30.5b | 1.88b | 16.1b | 4.02b | 7.09 | 19.3b |
| Irrigation withhold from flowering | قطع آبیاری از گل‌دهی | 5.22a | 2.37a | 14.0c | 16.6b | 29.5c | 2.16a | 17.0a | 4.74a | 7.62 | 22.5a |
| Zeolite | زئولیت | | | | | | | | | | |
| 0 (Control) | صفر (شاهد) | 4.87a | 2.24a | 14.4b | 16.9b | 29.9b | 2.05a | 16.6a | 4.41a | 7.65 | 21.0a |
| 5 ($ton.ha^{-1}$) | ۵ | 4.68ab | 2.08ab | 15.1ab | 17.4ab | 30.4ab | 1.90ab | 16.2ab | 4.08ab | 7.10 | 19.3b |
| 10 ($ton.ha^{-1}$) | ۱۰ | 4.45bc | 1.94bc | 15.7a | 18.0ab | 31.0a | 1.79b | 15.6ab | 3.79b | 6.69 | 17.3c |
| 15 ($ton.ha^{-1}$) | ۱۵ | 4.38c | 1.88c | 15.8a | 18.1a | 31.0a | 1.73b | 15.5b | 3.69b | 6.59 | 17.2c |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

لینولنیک شد و میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزانوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات با مصرف زئولیت کاهش یافتند (جدول ۲). بر همین اساس، کمترین میزان اسیدهای چرب اولئیک (۱۴/۴ درصد)، لینولئیک (۱۶/۹ درصد) و لینولنیک (۲۹/۹ درصد) در تیمار عدم مصرف زئولیت به ثبت رسید و مصرف پنج، ۱۰ و ۱۵ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب باعث افزایش‌های ۵، ۹ و ۱۰ درصدی برای اسید اولئیک، ۳، ۶ و ۷ درصدی برای اسید لینولئیک و ۲، ۴ و ۴ درصدی برای اسید لینولنیک شد (جدول ۲). بیشترین میزان اسیدهای چرب پالمیتیک (۴/۸۷ درصد)، استئاریک (۲/۲۴ درصد)، آراشیدیک (۲/۰۵ درصد)، ایکوزانوئیک (۱۶/۶ درصد)، اروسیک (۴/۴۱ درصد) و گلوکوزینولات (۲۱/۰ میکرومول بر گرم کنجاله) در تیمار عدم مصرف زئولیت مشاهده شد و مصرف ۵، ۱۰ و ۱۵ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب باعث کاهش‌های ۴، ۷ و ۱۰ درصدی برای اسید پالمیتیک، ۷، ۱۳ و ۱۶ درصدی برای اسید استئاریک، ۷، ۱۳ و ۱۶ درصدی برای اسید آراشیدیک، ۳، ۶ و ۷ درصدی برای اسید ایکوزانوئیک، ۷، ۱۴ و ۱۴ درصدی برای اسید اروسیک و ۸، ۱۷ و ۱۸ درصدی برای گلوکوزینولات شد (جدول ۲). همان‌طور که ذکر شد، زئولیت به‌دلیل تأثیر مثبتی که در نگهداری آب و دسترسی بیشتر آب برای گیاه ایجاد می‌کند، می‌تواند در شرایط کم‌آبی به گیاه کمک کند تا اثر منفی تنش خشکی کمتر شود. در این آزمایش نیز مشاهده شد که با مصرف زئولیت میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک که به دلیل تنش خشکی کاهش یافته بودند، افزایش یافته و در مقابل میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزانوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات کاهش یافتند که این موضوع نشان‌دهنده بهبود رشد گیاه است. تغییر نسبت اسیدهای چرب تحت تأثیر عواملی مانند نوسانات دما، در دسترس بودن آب و عملیات زراعی قرار می‌گیرد که می‌توان آن را به تأثیر هر کدام از این عوامل بر بیوسنتز اسیدهای چرب و فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز اسیدهای چرب نیز نسبت داد (Aghdasi *et al.*, 2021; Shirani Rad *et al.*, 2023).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در بین نسبت‌های اسید چرب مورد بررسی، فقط نسبت غیراشباعی اسید اولئیک (ODR) تحت تأثیر اثر تیمارهای آبیاری قرار گرفت و اثر اصلی زئولیت و برهم کنش تیمارهای برای این دو نسبت معنی‌دار نبود. نسبت غیراشباعی اسید اولئیک در تیمار آبیاری کامل ۷۵/۱ درصد بود و قطع آبیاری از مرحله تشکیل خورجینک (۷۶/۰ درصد) و گل‌دهی (۷۶/۷ درصد) باعث افزایش جزئی در این نسبت شد (داده‌ها ارائه نشده است). بالا بودن میزان نسبت‌های غیراشباعی اسید اولئیک و اسید لینولئیک (ODR و LDR) نشان‌دهنده مقدار سوبسترایی است که از اسید اولئیک به اسید لینولئیک و اسید لینولنیک تبدیل می‌شود (Pleines and Friedt, 1989). نسبت اسیدهای چرب برای تخمین کارایی نسبی مسیرهای غیراشباع‌سازی بسیار مفید هستند. مقادیر بالای نسبت غیراشباعی اسید اولئیک نشان می‌دهد که مسیر بیوسنتزی اسیدهای چرب در بیوسنتز اسیدهای اولئیک به لینولئیک کارآمد است (Mondal *et al.*, 2010). همبستگی منفی و بسیار معنی‌دار بین نسبت غیراشباعی اسید اولئیک و اسید اولئیک اسید ($r^2=$ -۰/۹۰) نیز مؤید همین موضوع می‌باشد (ضرایب همبستگی ارائه نشده است). یافته‌های آزمایش حاضر با نتایج تحقیق شیرانی‌راد و همکاران (Shirani Rad *et al.*, 2023) که اثر تنش خشکی و تاریخ کاشت را بر ترکیب و نسبت اسیدهای چرب کاملینا مورد ارزیابی قرار دادند نیز همخوانی دارد.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان داد که تنش خشکی

باعث کاهش معنی‌دار محتوای روغن دانه و عملکرد دانه کاملینا و کاهش میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک شد و در مقابل میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزانوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات در تیمارهای تنش خشکی بیشتر از آبیاری کامل بود. مصرف زئولیت باعث افزایش محتوای روغن دانه و عملکرد دانه و میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک شده و در مقابل میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، آراشیدیک، ایکوزینوئیک، اروسیک و گلوکوزینولات با مصرف زئولیت کاهش یافتند. در تیمار آبیاری کامل بهترین کمیت و کیفیت روغن کاملینا از مصرف ۱۰ تن زئولیت در هر هکتار به دست آمد، در حالی‌که در هر دو تیمار قطع آبیاری از مراحل تشکیل خورجینک و گل‌دهی، مصرف ۱۵ تن زئولیت در هکتار اثر مثبت بیشتری نسبت به سایر سطوح داشته و می‌تواند به عنوان یک فعالیت مدیریتی مناسب برای افزایش کمیت و کیفیت روغن کاملینا در نظر گرفته شود. نکته مهم دیگر این است که باوجود اثر مثبت آبیاری و مصرف زئولیت در افزایش کمیت و کیفیت روغن کاملینا (رقم سهیل)، میزان اسید اروسیک بالاتر از حد استاندارد برای مصارف انسانی (دو درصد) بوده و لازم است راهکارهای اصلاحی و مدیریتی دیگری برای کاهش میزان اسید اروسیک روغن کاملینا در پیش گرفته شوند.

## سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج برای اجرای این تحقیق کمال تشکر و سپاسگزاری را دارند.

## منابع مورد استفاده

## References

**Aghdasi, S., AghaAlikhani, M., Modares Sanavy, S.A.M., and Kahrizi, D. 2021.** Exogenously used boron and 24-epibrassinolide improved oil quality and mitigate late-season water deficit stress in camelina. *Industrial Crops and Products*, 171, 113885. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113885

**Amiri-Darban, N., Nourmohammadi, G., Shirani Rad, A.H., Mirhadi, S.M.J., and Heravan, I.M. 2020.** Potassium sulfate and ammonium sulfate affect quality and quantity of camelina oil grown with different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 148, 112308. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112308

**Aminbaigi, A., Jalilian, J., Chaghazardi, H., Kahrizi, D., and Khalilzadeh, R. 2023.** Evaluation of different fertilizer sources effect on yield, forage quality and oil of camelina (*Camelina sativa* L.) under water deficit stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(2), pp.1-14. [In Persian]. doi: 10.22034/saps.2022.50509.2831

**Azadmard-Damirchi, S., and Dutta, P.C. 2006.** Novel solid-phase extraction method to separate 4 desmethyl-, 4 monomethyl-, and 4, 40-dimethylsterols in vegetable oils. *Journal of Chromatography*, 1108, pp.183–187. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.01.015

**Bahador, M., and Tadayon, R. 2020.** Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp: Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial Crops and Products*, 144, 112042. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112042

**Borzoo, S., Mohsenzadeh, S., Moradshahi, A., Kahrizi, D., Zamani, H., and Zarei, M. 2021.** Characterization of physiological responses and fatty acid compositions of *Camelina sativa* genotypes under water deficit stress and symbiosis with *Micrococcus yunnanensis*. *Symbiosis*, 83(1), pp.79-90. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00733-5

**Codina-Pascual, N., Torra, J., Baraibar, B., and Royo-Esnal, A. 2022.** Weed suppression capacity of camelina (*Camelina sativa*) against winter weeds: The example of corn-poppy (*Papaver rhoeas*). *Industrial Crops and Products*, 184, 115063. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115063

**Cosge, B., Gurbuz, B., and Kiralan, M. 2007.** Oil content and fatty acid composition of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) varieties sown in spring and winter. *International Journal of Natural Engineering and Sciences*, 1, 11–15. https://ijnes.org/index.php/ijnes/article/view/374

**Elferjani, R., and Soolanayakanahally, R. 2018.** Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1224. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01224

**Eyni-Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A., and Modares Sanavy, S.A.M. 2020.** Late season deficit irrigation for water-saving: selection of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes based on quantitative and qualitative features. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(1), pp.126–137. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1602866

**Harinder, P., Makkar, S., Siddhuraju, P., and Becker, K. 2007.** Plant secondary metabolites. Humana Press. Springer Verlag Gmbh. ISBN: 978-1-58829-993-2

**Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Mohammadi, H., and Nicola, S. 2017.** Effects of zeolite and water stress on growth: yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management*, 181, 66–72. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026

**Kalantar Ahmadi, S.A., and Eyni-Nargeseh, H. 2023.** Foliar application of growth regulators mitigates harmful effects of drought stress and improves seed yield and oil quality of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Gesunde Pflanz*, 75, pp.2449–2462. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00907-3

**Khashei, A., Shahidi, A., Dastorani, M., Fallahi, H.R., and Shirzadi, F. 2020.** Investigating the effect of amendments of zeolite, superabsorbent polymer, and different amounts of irrigation on sesame yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), pp.243-256. [In Persian]. doi: 10.22092/JWRA.2020.122261

**Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., and Ward, P.J. 2012.** Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertilizer use. *Science of the Total Environment*, 438, pp.477-489. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.092

**Lee, J., Lee, H., Kang, S., and Park, W. 2016.** Fatty acid desaturases, polyunsaturated fatty acid regulation, and biotechnological advances. *Nutrients*, 8(1), pp.23. https://doi.org/10.3390/nu8010023

**Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P.K.,**

**Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., and Hossein, A. 2021.** Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11, pp.448. https://doi.org/10.3390/agronomy11030448

**Mondal, N., Bhat, K.V., and Srivastava, P.S. 2010.** Variation in fatty acid composition in Indian germplasm of sesame. *The Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87, pp.1263–1269. https://doi.org/10.1007/s11746-010-1615-9

**Motaghi, L., Alahdadi, I., Shirani-Rad, A.H., Akbari Gh.A., and Hasanlou, T. 2015**. Evaluation the effect of zeolite on yield and yield components of rapeseed genotypes under water deficit conditions. *Journal of Crops Improvement*, 16(2), pp.381-397. [In Persian].

**Motaghi, S., Motaghi, L., Shiranirad, A., and Lotfifat, O. 2019.** Study the efficiency of zeolite in reduce the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj region. *Plant Ecophysiology*, 11(36), pp. 256-271. [In Persian].

**Najafian, G., Moghadam, A., Mahmoodi, Asadi, H., and Rastjoo, Gh. 2018.** The third festival of introducing new agricultural and horticultural varieties. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

**Pleines, S., and Friedt, W. 1989.** Breeding for improved C18-fatty acid composition in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Fat Science Technology*, 90, pp.167–171.

**Schillinger, W.F. 2019.** Camelina: Long-term cropping systems research in a dry Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 235, pp.87-94. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.023

**Shirani Rad, A.H., Eyni-Nargeseh, H., Shiranirad, S., and Heydarzadeh, A. 2022.** Effect of potassium silicate on seed yield and fatty acid composition of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes under different irrigation regimes. *Silicon*, 14, pp.11927–11938. https://doi.org/10.1007/s12633-022-01915-0

**Shirani Rad, A.H., Malmir, M., and Eyni-Nargeseh, H. 2024.** Potassium silicate positively affects oil content, physiologic, and agronomic traits of *Camelina sativa* L. under optimal water supply and drought stress conditions. *Silicon*, 16, pp.1071–1082. https://doi.org/10.1007/s12633-023-02741-8

**Shiranirad, S., Eyni-Nargeseh, H., Shirani Rad, A.H., and Malmir, M. 2023.** Managing irrigation and sowing date can improve oil content and fatty acid composition of *Camelina sativa* L. *Archive of Agronomy and Soil Science*, 69(14), pp.2847–2861. https://doi.org/10.1080/03650340.2023.2177989

**Singh, S., and Sinha, S. 2005.** Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* L. Czern. (Cv. Rohini) grown on various amendments of Tannery waste. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62, pp.118–127. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.12.026

**Smith, J.R. 1993.** More than four decades of safflower development. In: Third international safflower conference, June 14–18, Beijing, China.

**Stevenson, D.G., Eller, F.J., Wang, L., Jane, J.L., Wang, T., and Inglett, G.E. 2007.** Oil and tocopherol

content and composition of pumpkinseed oil in 12 cultivars. *Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), pp.4005-4013. https://doi.org/10.1021/jf0706979

**Sun, Y., He, Z., Wu, Q., Zheng, J., Li, Y., Wang, Y., and Chi, D. 2020.** Zeolite amendment enhances rice production, nitrogen accumulation and translocation in wetting and drying irrigation paddy field. *Agricultural Water Management*, 235, 106126. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106126

**Walia, M.K., Zanetti, F., Gesch, R.W., Krzyżaniak, M., Eynck, C., Puttick, D., Alexopoulou, E., Royo-Esnal, A., Stolarski, M.J., Isbell, T., and Monti, A. 2021.** Winter camelina seed quality in different growing environments across Northern America and Europe. *Industrial Crops and Products*, 169, 113639. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113639

**Zafari, M., Ebadi, A., Sedghi, M., and Jahanbakhsh, S. 2020.** Alleviating effect of 24-epibrassinolide on seed oil content and fatty acid composition under drought stress in safflower. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92, 103544. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103544

**Zanetti, F., Alberghini, B., Marjanovi´c Jeromela, A., Grahovac, N., Rajkovi´c, D., Kiprovski, B., and Monti, A. 2021.** Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe, A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2), pp.1-18. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00663-y